

УДК 669.15

М. В. Майсурадзе^{1*}, А. А. Куклина¹, Д. И. Лебедев^{1,2}, А. А. Кириллова¹¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург² Институт физики металлов им. М. Н. Михеева, г. Екатеринбург**m.v.maisuradze@urfu.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ ПОСЛЕ ЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛИ

Изучена возможность реализации изотермической закалки цементованных образцов легированной стали. В процессе изотермической выдержки при температуре ниже M_n сердцевины, но выше M_n поверхностного слоя в сердцевине формируется комплексная мартенсито-бейнитная микроструктура с повышенным количеством остаточного аустенита, а в поверхностном слое превращений не происходит, при окончательном охлаждении формируется высокоуглеродистый мартенсит.

Ключевые слова: сталь, термическая обработка, цементация, мартенсит, бейнит, остаточный аустенит, изотермическая закалка

M. V. Maisuradze, A. A. Kuklina, D. I. Lebedev, A. A. Kirillova

ISOTHERMAL HEAT TREATMENT OF THE CARBURIZED STEEL

The results of the isothermal treatment of the carburized steel were analyzed. During the isothermal holding at the temperature below M_s for the core, but above M_s for the surface, the complex microstructure was formed in the core (martensite, bainite, retained austenite), but in the surface layer no transformations occurred.

Key words: steel, heat treatment, carburization, martensite, bainite, retained austenite, isothermal holding

Исследуемая сталь (содержащая, масс. %: С — 0,22; Cr — 1,96; Mn — 2,02; Si — 0,96; Ni — 1,09; Mo — 0,31 [1; 2]) подвергалась цементации в газовой атмосфере при углеродном потенциале 0,7 %. После цементации производился высокотемпературный отпуск (650 °С, 5 ч), нагрев до температуры аустенитизации 900 °С, а затем

была реализована изотермическая закалка в температурном интервале 200...350 °С (ниже температуры M_n сердцевины).

В результате цементации на поверхности стали сформировался диффузионный слой, содержащий до 0,7 масс. % углерода. Как известно [1; 2], увеличение содержания углерода в стали приводит к снижению температур начала и конца мартенситного превращения. Таким образом, понизив температуру начала мартенситного превращения в диффузионном слое исследуемой стали ниже 300 °С, теоретически можно успешно реализовать изотермическую закалку для формирования в сердцевине пакетной микроструктуры с повышенным количеством стабильного остаточного аустенита [3; 4]. При этом в поверхностном науглероженном слое при изотермической выдержке не должно происходить каких-либо превращений, а при окончательном охлаждении должен сформироваться высокоуглеродистый мартенсит, обеспечивающий повышенную износостойкость поверхности.

Измерение твердости показало, что в результате изотермической закалки при температуре 200 °С наблюдается наименьший уровень твердости поверхностного диффузионного слоя — 56 ...57 HRC. Это связано с тем, что во время охлаждения до температуры 200 °С в диффузионном слое уже формируется некоторое количество мартенсита. В процессе последующей изотермической выдержки происходит отпуск мартенсита, а также некоторое перераспределение углерода и дополнительная стабилизация остаточного аустенита. Итоговая микроструктура представляет собой отпущенный мартенсит и повышенное количество остаточного аустенита, что приводит к некоторому снижению твердости относительно мартенсита, образованного при непрерывном охлаждении от температуры аустенитизации.

Аналогичная микроструктура наблюдается в случае изотермической закалки при температуре 250 °С. При этом твердость поверхностного слоя повышается до 58 HRC. Это связано с меньшим количеством мартенсита, который образовался во время охлаждения до температуры 250 °С и впоследствии претерпел отпуск во время выдержки.

При температуре изотермической выдержки 300 и 350 °С в структуре поверхностного слоя наблюдается свежееобразованный игольчатый высокоуглеродистый мартенсит и остаточный аустенит. Твердость поверхностного слоя составляет 59 ...60 HRC. Таким образом, температура M_n для цементованного слоя исследуемой стали находится в ин-

тервале температур 250 ...300 °С (в случае цементации при углеродном потенциале атмосферы 0,7 %).

В сердцевине исследуемой стали после реализации изотермической закалки при 200 °С наблюдается микроструктура отпущенного мартенсита, поскольку данная температура изотермической выдержки соответствует температуре M_s сердцевины. При повышении температуры изотермической выдержки наблюдается уменьшение содержания отпущенного мартенсита и появление в структуре продуктов изотермического превращения переохлажденного аустенита, а также структурных составляющих, содержащих свежееобразованный мартенсит и остаточный аустенит. Твердость сердцевины после реализации ступенчатой закалки в интервале температур 200 ...350 °С практически не изменяется и составляет 42 ...43 HRC.

Таким образом, реализация изотермической закалки цементованной стали позволяет получить сочетание высокой твердости поверхности (до 59 ...60 HRC) при одновременном формировании в сердцевине микроструктуры, содержащей отпущенный мартенсит, бейнит и стабильный остаточный аустенит (до 14 %). При этом в поверхностном цементованном слое после изотермической выдержки в течение 1 ч не наблюдается выделений бейнита, что позволяет применять данную технологию химико-термической обработки для массивных деталей металлургической, горношахтной отраслей, тяжелого машиностроения, работающих в условиях интенсивного износа поверхности и высоких динамических нагрузок.

Литература

1. Andrews K. W. Empirical Formulae for the Calculation of Some Transformation Temperatures // Journal of the Iron and Steel Institute. 1965. V. 203. № 7. P. 721–727.
2. A new empirical formula for the calculation of M_s temperatures in pure iron and super-low carbon alloy steels / C. Liu, Z. Zhao, D. O. Northwood, Y. Liu // Journal of Materials Processing Technology. 2001. V. 113. № 1–3. P. 556–562.
3. Speer J. G. Phase transformations in quenched and partitioned steels. In: Phase transformations in steels / ed. by E. Pereloma, D. V. Edmonds. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2012. P. 247–270.
4. Speer J. G., De Moor E., Clarke A. J. Critical Assessment 7: Quenching and partitioning // Materials Science and Technology. 2015. V. 31. P. 3–9.